

# 小型西瓜果实内部糖度分布及其影响因素研究

朱倩倩, 管劼昊, 李旷开, 饶秀勤\*

(浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 农业部设施农业装备与信息化重点实验室, 杭州 3100582)

**摘要: 目的** 对小型西瓜的糖度值分布及其影响因素进行定量分析研究, 建立快速、有效、精确的近红外光谱西瓜糖度的光谱检测模型。**方法** 沿西瓜花纹和垂直花纹两个方向将其五等分, 每个等分层上平均设置 13 个检测点, 对糖度分布进行检测和分析。**结果** 西瓜的糖度主要沿西瓜花纹分布, 两侧糖度值低, 中间三层糖度值接近, 第三和第四层的糖度值与西瓜总糖度值密切相关, 线性回归方程  $R^2$  值分别为 0.963 和 0.968。沿西瓜花纹进行等分后, 每个等分层的糖度值围绕西瓜总糖度上下波动, 浅层区域的糖度值与西瓜总糖度值具有较高的相关性。此外, 沿着西瓜纹路方向等分的半个西瓜的糖度值与整个西瓜的糖度值线性相关度  $R^2$  达到 0.934。**结论** 小型西瓜内部糖度分布具有一定的规律, 中间三层及浅层区域与西瓜总糖度值有较高相关性, 沿着西瓜纹路方向等分的半个西瓜可以用来预测整个西瓜的糖度值。

**关键词:** 小型西瓜; 糖度分布; 近红外光谱测定法

## Internal Brix distribution and its influencing factors of small watermelon

ZHU Qian-Qian, GUAN Jie-Hao, LI Kuang-Kai, RAO Xiu-Qin\*

(Key Laboratory of Equipment and Informatization in Environment Controlled Agriculture of the Ministry of Agriculture, College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

**ABSTRACT: Objective** To investigate the internal Brix distribution and its influencing factors of small watermelon, so as to develop a rapid, effective and accurate prediction model between the sugar content of small watermelon and Vis/NIR diffuse transmittance spectral characteristics. **Methods** The watermelon was cut into five equal pieces from two directions (one was along the watermelon patterns, the other was perpendicular to the patterns) and 13 detective points were set in each piece. The Brix distribution was detected and analyzed. **Results** The results showed that the Brix distribution was mainly along the watermelon patterns, which the sugar content of the edge sides was low while the middle was high. Furthermore, the Brix value of the third and fourth pieces and the total Brix value had a high linearity, with  $R^2$  of 0.963 and 0.968 respectively. The sugar content of each point along the patterns was fluctuating around the total Brix value. The Outer regions of watermelon showed a high linear correlation with total Brix value. In addition, the  $R^2$  of linear model between Brix value of half watermelon and total one is 0.934. **Conclusion** The internal Brix distribution of small watermelon follows a certain rules. The middle and the outer regions of the watermelon are of high linear correlations to total Brix value. The Brix value of half watermelon is valuable to represent the total Brix value.

**KEY WORDS:** small watermelon; Brix distribution; near-infrared spectrometry

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201003008)

\*通讯作者: 饶秀勤, 博士, 副教授, 主要研究方向: 农产品品质检测技术。E-mail: xrqao@zju.edu.cn

## 1 引言

在我国,西瓜作为人们最喜爱的水果之一,年产量达到3500万吨以上,位居世界榜首<sup>[1]</sup>,但是由于缺乏有效的检测方法,无法保证出口西瓜的高品质,其巨大的出口潜力无法实现,造成出口额甚小。另外,随着消费水平的提高,消费者对于水果的品质,尤其是内部品质如口感、成熟度、营养成分等要求也相应地提高。目前市场上对于西瓜的挑选仍以人工挑选为主,主观因素大,导致市场上多数西瓜只能混级销售,难以方便购买者挑选的同时,也降低了销售商的利润。

近年来,近红外光谱技术以其自身独特的优点——速度快、无污染、非破坏性等,在水果内部品质无损检测方向有很多的研究报道。其研究重点大多在于建立相应的近红外光谱模型,而近红外光谱检测作为一种二级分析方法,模型的建立需要将近红外光谱特性与样品的理化性质相结合。西瓜的个体相较于苹果、橘子等小型水果要大得多,其内部结构也更为复杂。其中糖度是评价西瓜品质最为重要的指标之一,掌握了解西瓜的糖度分布规律对于西瓜其理化性质和模型的精确建立具有重大意义。

本文主要研究小型西瓜的糖度值分布以及其影响因素,为近红外光谱与西瓜糖度模型的建立打下基础。

## 2 试验材料、方法及仪器

本研究选择的品种为麒麟瓜,采购于杭州水果批发市场。样本总数为20。在室温条件下,测定其不

同位置 and 不同深度的糖度分布,以获得其糖度分布的相关规律。糖度的测定采用手持式数显折光仪(PR-101α, 日本 ATAGO 公司)。

考虑到西瓜在近红外光谱中最常见的摆放位置为瓜柄朝上以及瓜柄平行地面两个位置,因此在分析糖度分布时采取两个分析方向:西瓜沿花纹方向(记为竖向)和垂直花纹方向(记为横向)。先分别沿着两个方向将西瓜切成五等分(两个方向的样本个数各10个),然后在每等分层上取13个均匀分布的采样点进行糖度值的检测(由于点位的空间限制,无法多次取样,每个采样点仅进行一次检测),最终将整个西瓜进行榨汁,测得整个西瓜的糖度值。如图1所示。

试验结果用 Microsoft Excel 软件进行数据的处理与分析,其中重点采用可重复双因素方差分析以及线性回归分析。

## 3 结果与讨论

### 3.1 不同等分层和不同位置对西瓜糖度分布的影响

如表1和表2所示,无论是竖向还是横向等分,不同的等分层和不同位置对西瓜的糖度分布有显著影响(相对应的 $F$ 值均远大于 $F$ -crit值)。而不同等分层与不同位置的交互作用不显著。

这一结论与实际情况相符,西瓜内部的糖度分布是不均匀且复杂的,因此需要进一步进行分析与讨论西瓜内部糖度分布的规律。

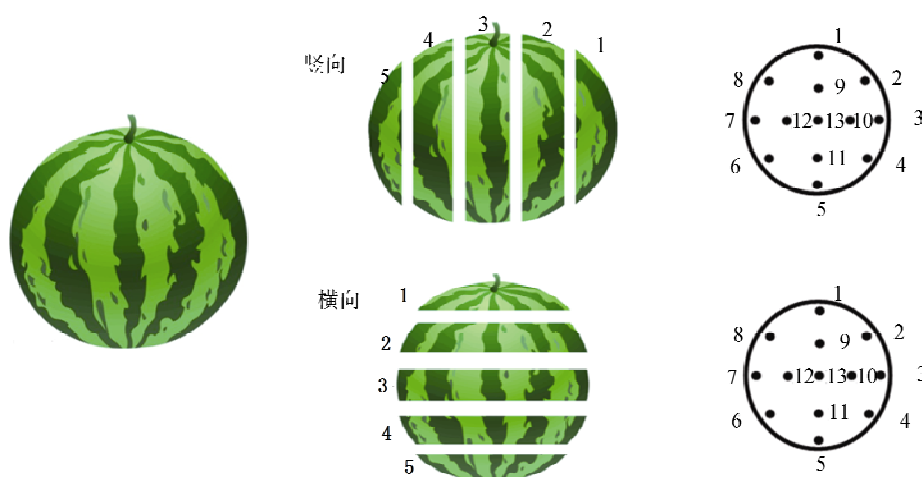


图1 西瓜糖度分布取样检测示意

Fig. 1 Schematic of sampling method on the Brix value of watermelon

表 1 纵向-不同等分层和不同位置对西瓜糖度分布的可重复双因素方差分析

| Table 1 Repeated two-factor analysis of variance of different pieces and different points(along the patterns) |         |     |       |       |          |        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----|-------|-------|----------|--------|
| 差异源                                                                                                           | SS      | df  | MS    | F     | P-value  | F-crit |
| 等分层                                                                                                           | 198.01  | 4   | 49.50 | 56.66 | 2.1E-40  | 2.39   |
| 位置                                                                                                            | 393.96  | 12  | 32.83 | 37.58 | 7.74E-65 | 1.77   |
| 交互                                                                                                            | 12.612  | 48  | 0.26  | 0.30  | 0.999999 | 1.38   |
| 内部                                                                                                            | 511.11  | 585 | 0.87  |       |          |        |
| 总计                                                                                                            | 1115.69 | 649 |       |       |          |        |

表 2 横向-不同等分层和不同位置对西瓜糖度分布的可重复双因素方差分析

| Table 1 Repeated two-factor analysis of variance of different pieces and different points(perpendicular to the patterns) |        |     |         |        |          |        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----|---------|--------|----------|--------|
| 差异源                                                                                                                      | SS     | df  | MS      | F      | P-value  | F-crit |
| 等分层                                                                                                                      | 115.09 | 4   | 28.77   | 66.36  | 2.73E-46 | 2.39   |
| 位置                                                                                                                       | 604.92 | 12  | 50.41   | 116.27 | 4.1E-146 | 1.77   |
| 交互                                                                                                                       | 20.41  | 48  | 0.43    | 0.98   | 0.512355 | 1.38   |
| 内部                                                                                                                       | 253.63 | 585 | 0.43355 |        |          |        |
| 总计                                                                                                                       | 994.05 | 649 |         |        |          |        |

3.2 不同等分层与西瓜总糖度值的相关关系

由 3.1 可知, 不同等分层糖度均值与西瓜内部的糖度分布具有显著性影响, 即同一西瓜在每一个等分层的糖度值是不同的。其主要的规律为中间三切片均值接近, 两边糖度值较低, 如图 2 所示。

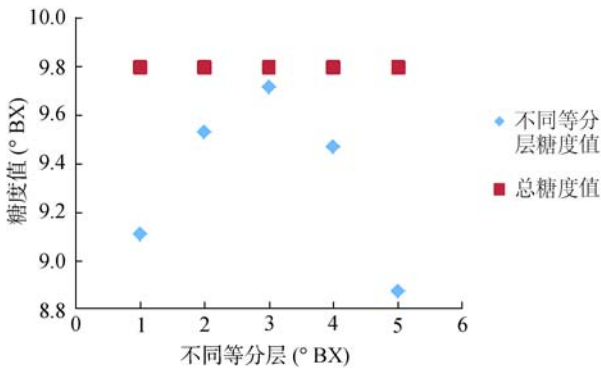


图 2 同一西瓜不同等分层的糖度分布图  
Fig. 2 Brix distribution of the same sample with different pieces

根据最小二乘法作线性回归, 统计不同等分层糖度均值与总糖度值线性回归决定系数  $R^2$  得表 3。如表所示, 从整体上来看竖向等分层与西瓜的总糖度值之间的相关性远高于横向等分层。说明了西瓜内部的糖度分布是竖向分布为主。

在竖向等分层中, 第三层和第四层的糖度均值与总体糖度值相关性最大, 与第五层相关性最小。由此, 进一步统计西瓜中间三层的糖度均值与西瓜总

表 3 不同等分层糖度均值与总糖度值线性回归决定系数  $R^2$  统计

| Table 3 R-squares between the Brix value of different pieces and total Brix value |       |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|
| 层数                                                                                | 竖向    | 横向    |
| 第一层                                                                               | 0.864 | 0.588 |
| 第二层                                                                               | 0.845 | 0.467 |
| 第三层                                                                               | 0.963 | 0.467 |
| 第四层                                                                               | 0.968 | 0.468 |
| 第五层                                                                               | 0.524 | 0.270 |
| 中间三层                                                                              | 0.959 | 0.557 |

糖度值的相关性, 发现中间瓜层的糖度均值可以在很大程度上代表了西瓜的总糖度值, 即可以预测西瓜总糖度值(图 3)。这与实际情况相符, 西瓜中间层的瓜瓢较红, 口感较甜, 而两头则瓜瓢较白, 成熟度不足, 糖度值低, 不能整体上代表西瓜总糖度值。

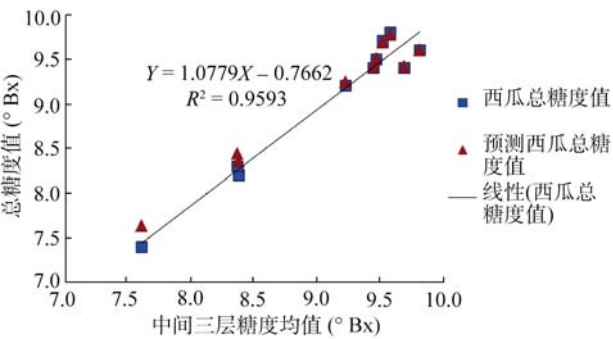


图 3 竖向-中间三层糖度均值与西瓜总糖度值的关系  
Fig. 3 Relationship between the Brix mean value of the middle and the total Brix value

3.3 不同位置与西瓜总糖度值的相关关系

同一西瓜在同一等分层不同位置的糖度值也是不一致的,其变化规律具有一定的随机性,但主要围绕西瓜的总糖值上下波动,如图 4 所示。

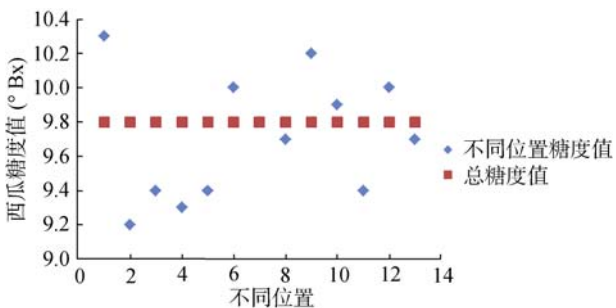


图 4 同一西瓜同一等分层不同位置糖度分布情况  
Fig. 4 Brix distribution of the same sample with different points at one piece

根据 3.2 可知,竖向第三、第四等分层糖度值及中间三层糖度均值与西瓜的总糖度值相关性最大。由此,重点分析了这三层中不同位置与西瓜总糖度值的相关关系。也采用最小二乘法进行线性回归,统计得到检测位置 1 至 13 对应的线性回归决定系数  $R^2$  值,如表 4 所示。从回归决定系数  $R^2$  来看,浅层区域与西瓜总糖度值的相关性最大,中层区域次之,中心点处最小。特别是位置 4 与西瓜总糖度值的相关性决定系数,分别达到了 0.9172、0.865 和 0.9389。由于糖度值分布是越到西瓜的中心处越大,浅层的西瓜糖度值会低于总糖度值,因此该预期结果与实际结

果相反。分析原因可能是,浅层区域的糖度值不大但其分布比较均匀,中层和中心处的糖度值虽然大,但是随机性较大,比如某区域过度成熟和西瓜籽的存在都会对其产生一定程度的干扰。由此初步得出结论,在运用近红外光检测小型西瓜糖度所要求的透射厚度不需用很大,只需要透过浅层区域(3 cm 左右)即可获得可靠的信息。

至于不同等分层而言,整体上,中间三层糖度均值的不同位置与总糖度值的相关关系要大于第三层和第四层,说明了中间瓜层代表了西瓜内部绝大部分的糖度信息。

3.4 半个西瓜的糖度均值与西瓜总糖度值的相关关系

在西瓜理化分析中,一般采取的方法都是取整个西瓜的瓜瓢进行榨汁后进行糖度、含水率、可溶性物质等性质的检测分析。整个西瓜瓜瓢的获取和榨汁在实际操作时工作量很大,而且整个西瓜榨出的汁液很多,一台普通的榨汁机一般情况需要分两次榨取。这样反而加入了很多不可避免的人为操作上的误差。

由图 5~图 8 可见,竖向平分的半个西瓜的糖度均值与整个西瓜的糖度均值具有很强的相关性,上半个西瓜与下半个西瓜对应的决定系数分别为 0.934 和 0.921。而横向平分的半个西瓜的糖度均值与整个西瓜的糖度均值的相关性则较差,为 0.631 和 0.415。这一结果说明竖向平分的半个西瓜的糖度均值可以在一定程度上代表整个西瓜的糖度值。因此在西瓜的

表 4 竖向-不同位置糖度值与总糖度值线性回归决定系数  $R^2$  统计  
Table 4  $R$ -squares between the Brix value of different points and total Brix value

| 区域划分 | 不同位置  | 第三层   | 第四层   | 中间三层均值 |
|------|-------|-------|-------|--------|
| 浅层区域 | 位置 1  | 0.720 | 0.742 | 0.741  |
|      | 位置 2  | 0.739 | 0.806 | 0.759  |
|      | 位置 3  | 0.650 | 0.864 | 0.699  |
|      | 位置 4  | 0.917 | 0.865 | 0.939  |
|      | 位置 5  | 0.301 | 0.435 | 0.613  |
|      | 位置 6  | 0.703 | 0.880 | 0.738  |
|      | 位置 7  | 0.668 | 0.762 | 0.640  |
|      | 位置 8  | 0.649 | 0.703 | 0.664  |
| 中层区域 | 位置 9  | 0.678 | 0.373 | 0.670  |
|      | 位置 10 | 0.487 | 0.425 | 0.642  |
|      | 位置 11 | 0.371 | 0.153 | 0.417  |
| 中心点  | 位置 12 | 0.460 | 0.350 | 0.540  |
|      | 位置 13 | 0.316 | 0.311 | 0.416  |

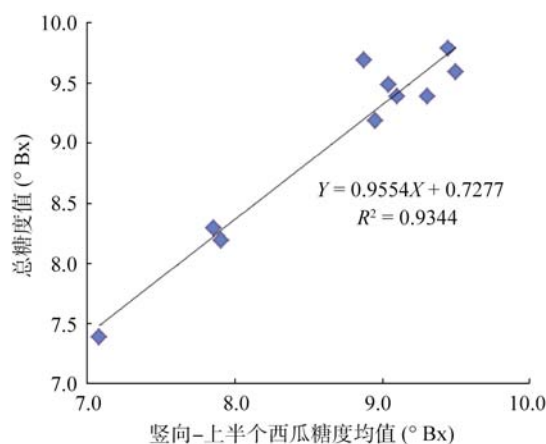


图 5 竖向上半个瓜糖度均值与西瓜总糖度值相关关系  
Fig. 5 The correlation between the Brix value of the top half watermelon and total Brix value (along the pattern)

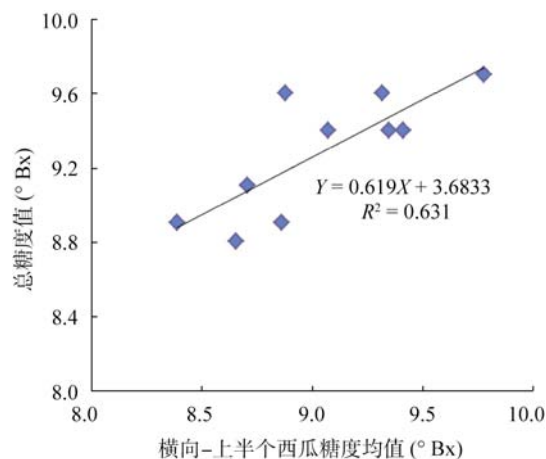


图 6 横向上半个瓜糖度均值与西瓜总糖度值相关关系  
Fig. 6 The correlation between the Brix value of the top half watermelon and total Brix value (perpendicular to the pattern)

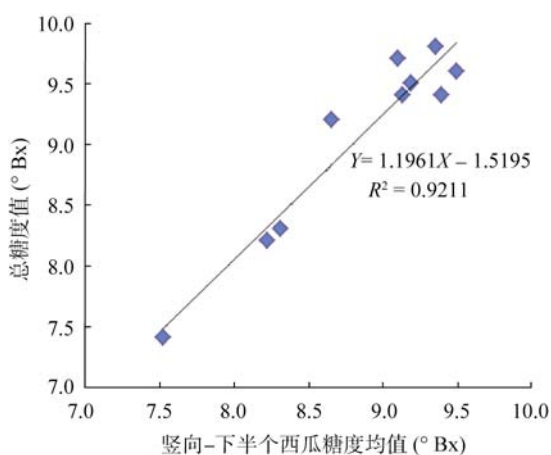


图 7 竖向下半个瓜糖度均值与西瓜总糖度值相关关系  
Fig. 7 The correlation between the Brix value of bottom half watermelon and total Brix value (along the pattern)

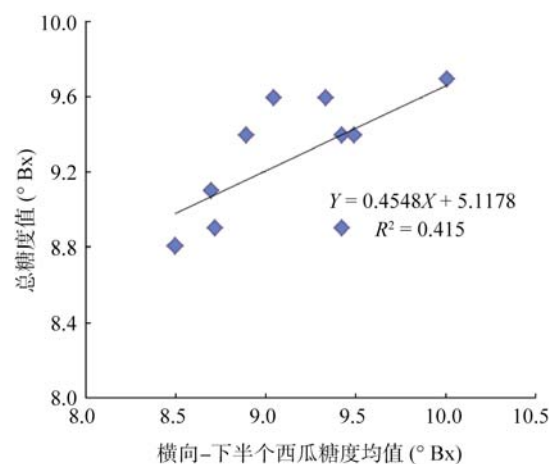


图 8 横向下半个瓜糖度均值与西瓜总糖度值相关关系  
Fig. 8 The correlation between the Brix value of bottom half watermelon and total Brix value (perpendicular to the pattern)

糖度这一理化性质的检测过程中, 可以简化操作步骤, 仅需榨取竖向平分的上半个西瓜的汁液即可。这一做法可以大大提高效率, 同时减少一定量的人为误差。

#### 4 结 论

本研究以麒麟瓜为例, 对其内部糖度分布规律进行了深入的分析。初步分析结果表明, 西瓜内部的糖度分布受横向、纵向的影响, 虽复杂多变, 但也有一定相关性, 其建立的线性回归方程可以在一定程度上预测西瓜的总糖度值。其糖度分布主要沿花纹方向(即竖向)分布。将其五等分后, 中间三切片均值接近, 两侧的糖度值较低。其中第三层、第四层及中间三层(即第二层、第三层和第四层)的糖度均值, 与整个西瓜的总糖度值具有很强的相关性。进一步分析第三层和第四层中 13 个检测位置的糖度值, 在每一个等分层上不同检测位置的糖度值主要围绕着整个西瓜的总糖度值上下规律可循。而浅层区域与西瓜总糖度值具有较强的相关性。说明运用近红外光漫透射光谱检测西瓜糖度值时, 仅需要透过浅层区域, 即保证近红外光的穿透深度超过 3 cm 左右即可, 不需要尽可能多地提高光强以透过西瓜的深层区域。此外, 还对半个西瓜的糖度均值与整个西瓜的糖度均值进行了分析和建模, 结果表明竖向平分的半个西瓜的糖度均值与整个西瓜的糖度值具有很强的相关性, 所建立的最小二乘法线性回归方程的决定系数达到 0.9 以上。因此在理化分析西瓜糖度值的操作中, 可以精

简步骤只榨取半个西瓜的汁液以提高效率。

本研究探讨了麒麟瓜的内部糖度分布情况及相应规律,该基础信息的研究将有助于更好地理解基于近红外光谱技术的西瓜内部品质检测过程,为建立更加快速、有效、精确的近红外光谱西瓜糖度的光谱预测模型莫下基础。

#### 参考文献

- [1] 王鸣. 我国西瓜育种的进展[J]. 西北园艺, 2003, (3): 6-8
- [2] 蔡宋宋, 王宝刚, 冯晓元, 等. 测试部位、温度对苹果品质近红外分析准确度的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(4): 217-220.
- [3] 陈香维, 杨公明. 测试部位对猕猴桃近红外光谱响应特性的影响[J]. 农业机械学报, 2009, 40(1): 124-128.
- [4] 马广, 傅露萍, 周莹, 等. 大白桃糖度的近红外漫反射光谱无损检测试验研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2007, 27(5): 907-910.
- [5] 田海清, 应义斌, 陆辉山, 等. 基于可见近红外光谱的乙烯利催熟西瓜与正常成熟西瓜实验研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(4): 940-944.
- [6] 袁琳, 徐怀德, 李钰金. 近红外漫反射光谱检测网纹瓜可溶性固形物含量的研究[J]. 中国食品学报, 2010, 10(4): 272-277.
- [7] 田海清, 应义斌, 陆辉山, 等. 可见/近红外光谱漫透射技术检测西瓜坚实度的研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2007, 27(6): 1113-1117.
- [8] 田海清, 应义斌, 徐惠荣, 等. 西瓜可溶性固体物含量近红外透射检测技术[J]. 农业机械学报, 2007, 38(5): 111-113.
- [9] 张帆, 王倩, 马智宏, 等. 西瓜可溶性糖和纤维素含量的近红外光谱测[J]. 食品科学, 2007, 28(1): 258-261.
- [10] 田海清. 西瓜品质可见-近红外光谱无损检测技术研究[D]. 浙江大学, 2006: 1-128.
- [11] 李永玉, 赵洪卫, 常冬, 等. 小型西瓜果实成熟度的无损定性判别[J]. 光谱学与光谱分析, 2012, 32(6): 1526-1530.
- [12] 赵洪卫, 宋曙辉, 常冬, 等. 小型西瓜果实生长过程中无损检测基础信息的研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2011, 2(6): 273-279.
- [13] 田海清, 应义斌, 徐惠荣, 等. 运动西瓜可见-近红外光谱采集系统及品质检测试验研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(6): 1536-1540.
- [14] 何东健, 前川孝昭, 森岛博. 水果内部品质在线近红外分光检测装置及试验[J]. 农业工程学报, 2001, 17(1): 146-148
- [15] Bart MN, Kartiren B, Els B, *et al.* Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review [J]. Postharv Bio Technol, 2007, 46: 99-118

(责任编辑: 张宏梁)

#### 作者简介



朱倩倩, 浙江大学生工食品学院生物系统工程专业 2009 级本科生。

E-mail: 3090100125@zju.edu.cn



饶秀勤, 博士, 副教授, 主要研究方向: 农产品品质检测技术。

E-mail: xrqao@zju.edu.cn